2409 f No. 20

Lane Medical Library

Zur Farbenperimetrie.

Aus der Universitäts-Augenklinik zu Bern.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

der

hohen medicinischen Facultät in Bern

vorgelegt von

Emil Hegg

pract. Arzt.

Leipzig

Wilhelm Engelmann

1892.

Auf Antrag
von Prof. Pflüger von der medicinischen Facultät
zum Drucke genehmigt.

Bern, den 2. März 1892.

Der Decan Dr. E. Pflüger.

Separat-Abdruck
aus v. Graefe's Archiv für Ophthalmologie.
XXXVIII. Bd., 3. Abth.

Meinem Vater

in Liebe und Dankbarkeit

zugeeignet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153513_0206

Es ist wohl in der Physiologie wie in der medicinischen Praxis das ungewöhnlichére, dass für die Untersuchung irgend einer Function die Methode richtig ist, während die dafür nöthigen und zu Gebote stehenden Hilfsmittel im Stiche lassen; denn für gewöhnlich ist die Unrichtigkeit eines Untersuchungsresultates deshalb in der Unrichtigkeit der Methode und nicht der Hilfsmittel begründet, weil die moderne physiologische Chemie und Physik uns die letztern in den meisten Fällen in untadelhafter Form bieten.

Gegen die bis jetzt gebräuchliche Methode für die Untersuchung des peripheren Farbensinnes mit farbigen Papier- oder Tuchstückchen am Perimeter lässt sich vom physiologischen Standpunkt aus nichts einwenden, weil wir diese Function nicht anders als subjectiv zu prüfen vermögen und vom klinischen Standpunkt aus nichts einwenden, weil diese Methode den erreichbaren physiologischen Bedingungen gerecht werden kann und zugleich leicht und für jeden Praktiker ausführbar ist. Die durch Hess mitgetheilte Hering'sche Untersuchungsmethode, auf die wir

später werden zu reden kommen, mag physiologisch exacter, wird aber wegen practischer Schwierigkeiten nicht allgemein einführbar sein.

Anders verhält es sich mit den Hilfsmitteln, die wir für diese Untersuchungsmethode besitzen. Unter allen Farben, welche gegenwärtig für die Farbenperimetrie in Gebrauch sind, (Heidelberger, Marx, Bull) kennen wir keine einzige, welche den physiologischen Anforderungen entspricht. Es haben schon Aubert, Bull u. A. ausgesprochen, letzterer hat sie darzustellen versucht, dass man Farben besitzen sollte, welche in einem bestimmten Verhältniss stehen zu denjenigen unserer farbigen Empfindungen, welche man auf Grund physiologischer Erfahrung als physiologisch einfache Farbempfindung bezeichnen müsse, also physiologisch reine Farben. Da aber die Farben, welche Bull damit meinte, wie auch schon Stilling[1]) ausgesprochen hat, keineswegs physiologisch reine Farben sind, so wollen wir hier diesen Ausdruck fallen lassen und die betr. Farben in die allgemeine Categorie definirbarer Farben zusammenfassen. Natürlich bleiben die Fordernisse, welche Aubert und Bull an ihre physiologisch reinen Farben gestellt haben, dass dieselben nämlich unter sich gleichwerthig sein sollten in Bezug auf Helligkeit und farbigen Gehalt, bestehen.

Sehen wir jedoch zunächst von den zwei letztern Postulaten ab, da es in erster Linie nicht von besonderm Werth ist, ein gemeinsames Maass für die verschiedenen Farbempfindungen zu besitzen, sondern sich darum handelt, diejenigen Eigenschaften einer Farbe zu bestimmen, welche die letztere definirbar machen, und zwar auf Grund physiologischer Erscheinungen, (im Gegensatz zu den durch die Wellenlänge definirten spectralen Farben). Darin liegt der principielle Unterschied zwischen den zu beschreibenden

[1]) Bruno Kolbe. Zur Analyse der Pigmentfarben. Arch. f. Ophth. 1884. II. pag. 62.

und den bisher gebräuchlichen Farben. Die weitaus am häufigsten gebrauchten Heidelberger Farben zeichnen sich durch einen hohen Sättigungsgrad aus und stehen in einzelnen Tönen dem Spectrum nahe. Die Marx'schen Tuchfarben sind, der Absicht des Autors entsprechend, ziemlich genau dem Spectrum entnommen. Beide Serien haben den Fehler, dass die verschiedenen Töne in Helligkeit und farbigem Werth erheblich untereinander differiren.

Diejenige Eigenschaft, welche Bull veranlasste, seine Farben als physiologisch reine aufzufassen, definiren wir als Invariabilität der Farben[1]).

Eine Farbe ist erst dann als physiologisch rein (Bull) oder als unveränderlich zu betrachten, wenn sie auf allen Punkten der sie empfindenden Netzhautpartien in gleicher Weise empfunden wird.

So ist z. B. ein Roth dann ein invariables Roth, wenn es in der ganzen peripheren, rothblinden[2]) Netzhautzone entsprechend seiner Helligkeit in Bezug auf sich selbst und den Grund als helleres oder dunkleres Grau gesehen wird, und nun beim Uebergang in die rothempfindende[2]) Zone mit einem Schlag in demjenigen Tone erkannt wird, in dem es bis zur Macula verharrt.

Wir sehen hier absichtlich von den Abweichungen, welche die maculare Parthie der Netzhaut in dieser Beziehung zeigt, ab, weil dieselben mit der Farbenperimetrie in keinem Zusammenhang stehen und deshalb nicht in den Rahmen dieser Arbeit passen.

Alle käuflichen rothen Papiere oder Tücher gehen

---

[1]) Conf. Hess. Arch. f. Ophth. Bd. XXXV. 4.

[2]) Anm. Die periphere Netzhaut wird hier nur in Bezug auf das gerade zur Untersuchung benutzte Object als rothblind und rothempfindend bezeichnet. Das Gesichtsfeld kann sich selbstredend bei zu- oder abnehmendem Rothwerth des Objectes und bei Aenderungen in der Relation der Helligkeit des Objectes zu derjenigen des Grundes erweitern oder verengern.

durch Gelb und Orange oder Blau und Violett in Roth über; ebenso fast alle grünen. Wollen wir nun z. B. ein gelbliches Roth in unveränderliches Roth umwandeln, so müssen wir den Gelbwerth desselben eliminiren. Dies geschieht durch Neutralisation des letztern durch Zusatz einer nöthigen Menge Blau. Damit ein bläuliches Roth, das in der Peripherie blau erscheint, unveränderlich werde, ist ein entsprechender Zusatz von Gelb nothwendig. Ebenso bei Grün. Wird diese Correction des veränderlichen Roth resp. Grün durch einen blauen oder gelben Sector auf dem Kreisel vorgenommen, so schwanken, wie wir sehen werden, die Resultate bei gleichbleibender Beleuchtung und chromatischer Stimmung des untersuchenden Auges innerhalb Fehlergrenzen von nicht über 2^0. Auf diese Weise habe ich die unveränderlichen Farben hergestellt und bemerke schon hier, dass ein eclatanter Unterschied bei der Untersuchung mit diesen Farben gegenüber derjenigen mit den käuflichen zu Tage tritt. Während man bei den letzteren stets in Zweifel ist, in welchem Augenblick der Eindruck roth oder grün beginnt, hat man ihn bei ersteren mit untrüglicher Sicherheit. Während die gewöhnlichen Farben aus grau in gelb, dann allmählig in Orange und erst aus diesem ganz unbestimmt in Roth resp. Grün übergehen oder aber bei der blauwerthigen Reihe aus violett ganz unbestimmt in den endgültigen Ton, so dass es scharfer Beobachtung und langer Uebung bedarf, um das erste Auftreten der Roth- resp. Grünempfindung genau angeben zu können, so überrascht geradezu bei den invariablen Farben die Leichtigkeit und Sicherheit, mit der auch weniger intelligente Individuen ihr Gesichtsfeld für Roth und Grün zu signalisiren vermögen. Von welch enormem Vortheil dies sein muss, wird jedem Praktiker einleuchten.

Wenn es sich nun, was von theoretischen und practischen Gesichtspunkten aus betrachtet von gleich grosser Wichtigkeit ist, darum handelt, die verschiedenen Farb-

empfindungen mit einander zu vergleichen, die physiologische Erregbarkeit entsprechender Nervenelemente nach einem gemeinsamen Massstab zu messen, so ist es selbstverständlich unumgänglich nothwendig, mit gleichgemessenen Reizen die Versuche anzustellen und unsere definirbaren, invariablen Farben einander anzupassen.

Es giebt zweierlei Werthe der farbigen Empfindungserreger, welche wir gesondert einander gleichzusetzen haben: der Farbenwerth und der Helligkeitswerth. In Bezug auf den letztern können wir vermittelst des Heringschen Schirmes alle Farben genau mit einander vergleichen; in Bezug auf den farbigen Werth ist uns dies nur bei je zwei Farben in exacter Weise möglich. Wir vermögen den Rothwerth eines Objectes nur mit dem Grünwerth eines andern, den Gelbwerth eines weitern nur mit dem Blauwerth des vierten zu vergleichen; nicht aber gelingt es, den farbigen Werth einer der zwei erstgenannten Farben mit demjenigen der letztgenannten genau abzuwägen und umgekehrt.

Wir betrachten ein Roth und ein Grün als chromatisch äquivalent, wenn sie auf der Rotationsscheibe zu gleichen Theilen gemischt sich gegenseitig total aufheben, so dass eine Mischung entsteht, welche weder ins röthliche noch ins grünliche sticht; dabei ist es zunächst unwichtig, ob diese Mischung gelblich oder bläulich oder neutral grau sei, wenn nur die erste Bedingung exact erfüllt ist. Dasselbe gilt für Blau und Gelb. Sobald die gleichtheilige Mischung unter Ausschluss der blaue Strahlen absorbirenden macularen Parthie der Netzhaut weder bläulich noch gelblich erscheint, nennen wir die beiden Farben mit Hering gegenfarbig äquivalent.

Da die Mischung unseres nahezu spectralrothen und grünen Heidelberger Papieres wegen der in beiden enthaltenen gelben Valenz gelb erscheint, so müssen wir um neutrales grau zu erhalten, einen blauen Sector zufügen,

der im Verhältniss ihrer farbigen Valenzen auf Kosten sowohl des rothen als des grünen Componenten eingeschaltet wird. Wir werden weiter unten sehen, dass es keine andern als die unveränderlichen Farben sind, welche zu gleichen Theilen gemischt grau ergeben.

Gehen wir nun zu unsern Versuchen über. Wir verweisen hier für die folgenden mit dem Hering'schen Apparat ausgeführten Versuche ein für allemal auf die Arbeit von Hess (Arch. f. Ophth. XXXV. 4. 1889) welche denselben wegleitend war.

Es ist vielleicht angezeigt, an dieser Stelle kurz den Hering'schen Apparat zur Bestimmung der farbigen und weissen Valenzen gefärbter Papiere sowie seine Anwendungsweise in Erinnerung zu rufen.

Der Apparat besteht aus zwei Hauptbestandtheilen: einer durch Fuss- oder Handbetrieb zu bewegenden horizontal gestellten Rotationsscheibe und einem um seine horizontale Längsaxe drehbaren Schirm aus auf Holzrahmen aufgespanntem grauen Papier, welcher in 0,25—1,0 m Entfernung über der Rotationsscheibe befestigt werden kann. An einer seitlich angebrachten Gradeintheilung ist die Neigung des Schirmes genau ablesbar.

Dieser Schirm besitzt ferner eine mit einem Locheisen ausgeschlagene runde Oeffnung von ca. 1,5 cm □ Flächeninhalt, und zwar ist es wichtig, dass die Ränder dieser Oeffnung sehr scharf und nach keiner Seite hin ausgebogen seien.

Damit das beobachtende Auge stets in gleicher Richtung durch die Oeffnung die Scheibe sehe, ist über dem Schirm an einer Querstange ein kleiner hölzerner Ring befestigt, auf welchen man während der Beobachtung seine Orbitalränder aufstützen kann. Den ganzen Apparat stellt man so zu einem Fenster, dass der Beobachter gegen dasselbe gewendet ist; in der Berner Augenklinik ist ein einfensteriges Zimmer zu Farbenuntersuchungen besonders zweckmässig eingerichtet worden, indem Wände, Decke und Thüren mit derselben grauen Oelfarbe angestrichen wurden. Das Fenster, gegen Südosten gerichtet, kann mit einem weissen Rollvorhang von oben bis unten verdeckt werden, so dass die Versuche bei diffusem Tages-

licht unter möglichst günstigen und sich gleich bleibenden Beleuchtungsverhältnissen ausgeführt werden können; zugleich sind damit alle Fehlerquellen, welche die chromatische Stimmung des beobachtenden Auges beeinflussen könnten, möglichst ausgeschaltet. Als Mischungsobjecte dienten farbige Papiere, welche einzelnen Heidelberger Farben sehr nahe stehen. Den Schirm besitzen wir in drei Helligkeitsnuancen, welche sämmtliche drei für mein Auge einen feinen Stich ins grünliche zeigen. Ein absolut neutral graues Papier war mir nirgends erhältlich. Aus diesem Grunde setzte ich nach allen Versuchen, in denen ich aus Roth und Grün ein Grau gemischt hatte, auf Kosten des grünen Sectors dem rothen 1^0 zu; sonst hätten auch alle Mischungen, welche den Schirmen entsprechend gemacht wurden, denselben Stich ins grünliche erhalten; zudem hätte sich aus Gründen des simultanen Contrastes der Fehler zu Gunsten des Grün verdoppelt. Hier sei noch erwähnt, dass es einer ziemlich grossen Uebung bedarf, um zu erreichbar genauen Resultaten zu gelangen. Dies hängt wesentlich auch von dem Umstand ab, dass bei ungenügender Uebung des Beobachters der Versuch so lange dauert, dass während desselben die Beleuchtung sich ändert und dass die eintretende Ermüdung der Netzhaut störend in Betracht kommt; je rascher deshalb ein Versuch vollendet werden kann, desto genauer werden die Resultate ausfallen, und je öfter man seine Farben gemischt hat, desto sicherer wird man in der Ueberzeugung, dass die Hess'schen Aussagen in ihrer ganzen Schärfe richtig sind.

Ich lasse nun einen meiner Versuche mit dem Hering-schen Apparat folgen; es ist einer meiner zuletzt ausgeführten und deshalb zuverlässigsten. Da alle Versuche einander ähnlich sind, scheint es mir überflüssig, namentlich auch in Hinsicht auf die Hess'schen Publicationen, mehr als einen davon hier zu reproduciren. Es sei gleich noch ausdrücklich bemerkt, dass nicht ich selbst, sondern ein Gehilfe die Sectoren auf dem Kreisel beliebig geändert hat und zwar so, dass mir in jedem Fall unbekannt war, welche Farbe verstärkt oder abgeschwächt wurde. Darin liegt eine Garantie für die Zuverlässigkeit der Resultate.

Ich habe gemischt:

I. $123^0\,R + 135{,}5^0\,G + 101{,}5^0\,B =$ unveränderl.-Grau.
II. $288^0\,R + 72^0\,B$ „ Roth.
III. $238^0\,G + 122^0\,B$ „ Grün.

Die Rechnung giebt uns nun ein Mittel an die Hand, um die Probe darüber anzustellen, ob ich genau beobachtet habe oder nicht; wir können nämlich aus II und III den für I nöthigen blauen Sector auch durch Rechnung finden, deren Resultat mit dem empirisch gefundenen Werth für B in I stimmen muss. Wenn in II $72^0\,B$ nöthig sind, um $288^0\,R$ zu unveränderl. R zu machen, so ist durch Proportion zu finden, wieviel B (x) nöthig sein wird, um den $123^0\,R$ in I denselben Dienst zu leisten:

$$288 : 72 = 123 : x$$
$$x = 30{,}75.$$

Auf gleiche Weise berechnen wir aus III den blauen Sector (y), welcher die $135{,}5^0\,G$ in I unveränderlich macht

$$238 : 122 = 135{,}5 : y$$
$$y = 69{,}45.$$

Bei genauer Beobachtung in allen drei Mischungen sollte nun $x + y = 101{,}5$ sein; wir erhalten 100.2 was einem Fehler von $1{,}3^0$ entspricht. Da dieser Fehler innerhalb der empirisch erlaubten Grenze von 2^0 liegt, dürfen wir jetzt aus den drei empirisch gefundenen Gleichungen durch Rechnung weiteres ableiten. Unsere nächste Aufgabe ist, die Grösse des rothen Sectors zu bestimmen, welcher dem grünen Sector von 238^0 in III farbig Gegengewicht hält. Dies finden wir wieder durch eine Proportion, da wir wissen, (I) dass $123^0\,R$ nöthig sind um $135{,}5^0\,G$ zu paralysiren:

$$123 : 135{,}5 = 238 : z$$
$$z = 216$$

also hat ein rother Sector von 216^0 die gleiche farbige Valenz wie ein grüner Sector von 238^0; es ist überflüssig zu betonen, dass diese Zahlen nicht allgemeine Gültigkeit haben, sondern nur für unsere gerade angewandten Papiere richtig sind.

Nun können wir empirisch oder durch Rechnung aus II den blauen Sector v bestimmen, welcher die $216^0\,R$ zu invariablem Roth ergänzt. Nehmen wir den zu 55^0 gefundenen, (der berechnete beträgt 54^0) so haben wir in den Kreiseln

$$216^0\,R + 55^0\,B + 89\,W \text{ und}$$
$$238^0\,G + 122^0\,B$$

unsere (complementären) farbig äquivalenten unveränderlichen Farbentöne.

Aber die zweite Bedingung, ohne welche diese Farben als Untersuchungsobjecte werthlos sind, ist noch nicht erfüllt; sie besitzen nicht denselben Helligkeitswerth.

Haben wir die grüne Scheibe unter dem Heringschen Schirm (mittlerer Helligkeit) und betrachten dieselbe durch das Loch mit einer für das betreffende Grün blinden peripheren Netzhautstelle, so unterscheiden sich Loch und Schirm nur durch ihre Helligkeit. Diejenige des Loches, resp. der grünen Scheibe, ist constant, diejenige des Schirmes lässt sich, durch entsprechende Neigung des letztern gegen das Fenster oder von demselben ab, ändern. Hat der Schirm eine Neigung von 10^0 gegen das Fenster, so verschwindet das Loch vollständig und zwar auf jeder für das Grün der Scheibe blinden Netzhautstelle; dies zeigt uns an, dass Schirm und Scheibe bei dieser Stellung des erstern genau gleiche Helligkeit haben. Bei 9^0 Neigung ist das Loch heller, bei 11^0 dunkler als der Schirm.

Ist es möglich, unserm Roth die gleiche Helligkeit zu verleihen, wie der Schirm sie bei 10^0 Neigung hat, so wird es auch die gleiche bekommen, wie unser Grün, und sofort ist die zweite Bedingung erfüllt.

Unsere Mischung

$$216^0\,R + 55^0\,B + 89^0\,W$$

ist etwas heller als der Schirm bei 10^0 Neigung. Den schwarzen Sector von 5^0, der zur Ausgleichung erforderlich

ist, dürfen wir natürlich nur auf Kosten des Weiss zusetzen, da wir sonst entweder die Invariabilität oder das gegenfarbige Gleichgewicht stören würden. Mit

$$216^0\,R + 55^0\,B + 84^0\,W + 5^0\,S$$

haben wir uns ein Roth hergestellt, das den $238^0\,G + 122^0\,B$ sowohl in Beziehung auf seine farbige als auch auf seine weisse Valenz vollkommen ebenbürtig ist. Die Herstellung des blaugelben Paares war bedeutend weniger complicirt, weil blau und gelb eo ipso invariabel waren. Dem Blau musste, da es bei der zur Correction der Helligkeit nöthigen Verdünnung einen röthlichen Stich erhielt, grün zugesetzt werden, dem Gelb, das grünlich wurde, eine entsprechende Menge Roth. Wir haben diese beiden Töne in gleicher Helligkeit dargestellt, wie das rothgrüne Paar, und haben somit unsere vier Farben erhalten, mit denen wir nun mit gutem Gewissen perimetriren könnten, wenn sich dem nicht grosse practische Schwierigkeit widersetzen würde.

Betrachtet man die vier Farben nebeneinander, so bekommt man sofort das Gefühl, dass es Töne seien, welche zusammen gehören. Obschon man ja bei den Versuchen nicht darauf Rücksicht nehmen konnte, das blau-gelbe Paar dem rothgrünen auch farbig gleichwerthig zu schaffen, so imponiren doch beide als auch in dieser Hinsicht nahe verwandt. Es beweist uns dies freilich nichts anderes, als dass die Helligkeit eines Pigmentes von enormem Einfluss auf dessen farbige Energie unserer Netzhaut gegenüber sein muss.

Da der Hering'sche Apparat aus leicht ersichtlichen Gründen als Perimeter nicht tauglich ist, so erhob sich nun die Frage, auf welche Weise diese Töne zu fixiren seien, um sie für die Praxis verwerthbar zu machen. Darin besteht die oben erwähnte grosse Schwierigkeit, welche bis jetzt noch nicht ganz zur Zufriedenheit überwunden ist, welche es aber nach kurzer Zeit sein wird, wie ich hoffen zu dürfen glaube.

Zunächst liess ich durch einen Maler, der schon früher Herrn Prof. Pflüger in dieser Hinsicht gute Dienste geleistet hatte, unter meinen Augen meinen Kreisel copiren. Sobald der Maler einmal glaubte am Ziel zu sein, liess ich ihm ein wenig von seiner Farbe auf Blech (weil die Farbe in dasselbe ihre Flüssigkeit nicht abgiebt und sich deshalb beim Anstreichen nicht verändert) auftragen und prüfte das Aufgetragene sofort mittelst des Hering'schen Schirmes auf seine Helligkeit und mittelst eines Nicol'schen Prismas auf seine farbige Valenz. Die letztere Probe wurde folgendermassen angestellt. Ich hatte auf meiner Rotationsscheibe gemischt das invariable Roth mit Sectoren von ca. 12 cm Radius und gleich darauf aufliegend, mit eingeschraubt das invariable äquivalente Grün mit Sectoren von nur ca. 6 cm Radius, so dass also die rothe Scheibe unter der grünen mit einem Ring von ca. 6 cm Breite hervorragte. Betrachtete man nun durch ein doppeltbrechendes Prisma die beiden Farben, so entstand zwischen beiden durch Mischung derselben ein grauer Streifen, welcher allerdings wegen des simultanen Contrastes an derjenigen Seite, mit welcher er an das Roth der Scheibe grenzte, grünlich, auf der an das Grün der Scheibe anstossenden Seite röthlich erschien. Um diese die Untersuchung wesentlich störende Erscheinung zu umgehen, wählte ich ein möglichst starkbrechendes Prisma und vermehrte das Uebereinanderlagern der beiden Farben noch durch schiefe Stellung des Prisma; so gelangte ich dazu, dass der durch die Mischung entstehende graue Streifen die ganze Breite der farbigen Ringe einnahm und nun durch keine Contrasterscheinung mehr beeinflusst wurde. Um die aufgetragene rothe Farbe zu vergleichen, hielten wir das damit bestrichene Blechstückchen so auf die rothe Scheibe, dass es von unserer Stellung aus gesehen mit dem Rand genau an das Grün heranreichte. Bei der Betrachtung durch das Nicol erhielten wir auf diese Weise zwei graue Streifen, welche durch Mischung der grünen Scheibe einer-

seits mit dem rothen Kreisel, anderseits mit dem zu controlirenden Roth entstanden, und welche, weil sie unmittelbar neben einander lagen, direct verglichen werden konnten. Zeigte der durch Mischung der Probefarbe entstandene Streifen z. B. grünliche Färbung, so wussten wir sofort, dass wir zu wenig rothe Valenz hatten, war er röthlich, so hatten wir zu viel Rothwerth und je nachdem wurde auf der Palette corrigirt und die Probe von neuem begonnen. Ueberwiegen von Blau oder Gelb wurde auf gleiche Weise bemerkt und die betr. Farbe auf das ihr zukommende Mass reducirt, resp. durch den Antagonisten bekämpft. So konnte man natürlich zugleich die Helligkeit beurtheilen und bestehende Differenzen durch Zusatz von Schwarz oder Weiss ausgleichen. Das gleiche Verfahren wurde nachher auch bei der Darstellung der übrigen drei Farben angewandt.

Wer sich je mit Farbenmischen abgegeben hat, weiss, welchen Schwierigkeiten man hierbei begegnet und hat eine Ahnung davon, wie sich letztere häufen und multipliciren, wenn so genaue Resultate erforderlich sind wie die unsrigen. Hat man einmal die rothe Valenz erhalten, so ist die Helligkeit nicht richtig; setzt man nun Schwarz oder Weiss zu, so hat dadurch sofort die rothe Valenz eingebüsst; setzt man nun wieder Roth zu, so hat die Unveränderlichkeit gelitten, denn wir besitzen leider im Farbkasten kein unveränderliches Roth; dadurch nöthig gewordener Zusatz von Gelb oder Blau ändert natürlich wieder die Helligkeit, und so befinden wir uns in einem circulus vitiosus, aus dem man sich nur durch beharrlich fortgesetztes Corrigiren erlösen kann.

Hatten wir endlich einen rothen und einen grünen Ton construirt, welche bei der oben beschriebenen Betrachtung durch das Nicol und unter dem Schirm nichts mehr zu wünschen übrig liessen, so musste natürlich auch die Mischung der beiden aufgetragenen Töne ihrerseits das gleiche Grau ergeben, wie die Mischung der rotirten Far-

ben. Auch dies wurde geprüft. Dann machten wir noch eine weitere Controle. Wir trugen beide Farben zu gleichen Theilen (180°) auf eine in der Mitte durchbohrte runde Blechscheibe, welche auf den Rotationsapparat aufschraubbar war. Die Mischung musste selbstverständlich neutral grau sein. War sie es nicht, so wurde wieder corrigirt. Die Helligkeit der beiden Töne wurde mittelst des Hering'schen Schirmes einzeln geprüft und die Helligkeit der Mischung wurde mittelst des Nicol'schen Prismas mit der Helligkeit der Mischung der primären rotirten Farben verglichen. So erhielten wir zuletzt eine ganze Reihe von Controlen, welche nach vielen Versuchen endlich alle erfolgreich bestanden wurden.

Da zeigte sich aber bald eine höchst unangenehme Erscheinung. Schon nach wenigen Tagen waren nämlich unsere schönen Farben verblichen, waren nicht mehr unveränderlich, sondern im Gegentheil sehr verändert. Das in allen Tönen enthaltene Blau hatte nicht Stand gehalten, unsere Scheiben waren im buchstäblichen Sinn des Wortes vergilbt. Nun fing die ganze Farbenreiberei von Neuem an, diesmal aber mit den feinsten Nürnberger Malerfarben. Diese sind bis heute, also ca. drei Monate, unverändert geblieben [1]).

Aber was wir uns a priori sagen mussten, und was schon Hess ausgesprochen hat, trifft auch hier ein: die Töne sind nur für eine bestimmte Tagesbeleuchtung invariabel und sie lassen sich eben, was wichtig ist, nicht ohne überaus grossen Zeitaufwand vervielfältigen.

Die letztere Schwierigkeit ist jedoch von dem Augenblick an nicht mehr hoch anzuschlagen, in dem man die Ueberzeugung gewinnen kann, dass die erste Ungenauigkeit nicht von Belang ist. Ich bin der Ansicht, dass trotz

[1]) Seither habe ich auch noch die Edouard'schen Farben aus Paris versucht und als noch besser befunden.

des gerügten Mangels die Farben für die Praxis geeignet sind; denn da sie aus einem Versuch stammen, der bei mittlerer Tagesbeleuchtung ausgeführt wurde, sind die Varianten so geringfügig, dass das ungeübte Auge des Patienten dieselben bei jeder Tagesbeleuchtung als invariabel signalisiren wird.

Immerhin, besser ist besser. Von diesem Grundsatz ausgehend versuchte ich ein Verfahren, welches jeden Praktiker in den Stand setzen könnte, seine zur Perimetrie nöthigen Farben unmittelbar vor der Untersuchung selbst zu mischen. Hierzu liess ich mir vom Apotheker alle möglichen Anilinfarben kommen, behufs guter Durchtränkung des Papiers mit denselben alle in alcoholischer Lösung. Ich wollte versuchen, für jeden der vier unveränderlichen Farbentöne ein Recept zu construiren, indem ich die dazu nöthigen alcoholischen Farblösungen, von denen jede selbst genau nach Vorschrift hergestellt sein muss, in fein gradirten Gläsern mischte. Die Gleichheiten in den farbigen Valenzen und in den Helligkeiten liessen sich durch kürzeres oder längeres Verweilen der Probepapiere in der Lösung oder durch gleich folgendes mehr oder weniger energisches Abtupfen derselben mit Löschpapier erhalten. Die Helligkeit der Töne konnte auch dadurch modificirt werden, dass man verschieden helle zu färbende Papiere wählte. Ich bin nach vielen Versuchen auch dazu gekommen, solche gewünschte Recepte aufzustellen; 0,15 gr. Fuchsin + 0,1 gr. Gentianablau, hellgraues Papier (mit a bezeichnet) 15 Secunden eingetaucht giebt z. B. ein invariables Roth, das ziemlich äquivalent ist einem Grün, das durch 25 Secunden langes Eintauchen eines dunkleren Papieres (c) in 0,8 gr. Grün + 0,1 gr. Gelb erhalten wird.

Genaue Resultate erhielt ich mit dieser Methode nie und es zeigte sich auch sehr bald, dass die Farbe der so verfertigten Objecte schon nach wenigen Minuten verändert war, und dass sogar die Mutterlösungen sich sehr incon-

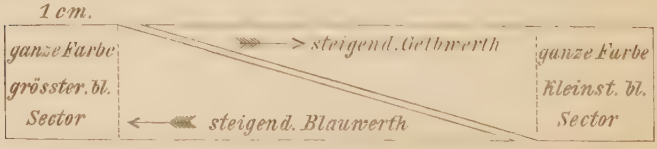
stant verhielten, auch wenn sie dem Einfluss des Lichtes entzogen blieben. Mit diesem Verfahren war also nichts zu erreichen.

Nun blieb mir zur Vervielfältigung meiner Farben noch der Farbendruck übrig und ich versuchte mit Hilfe desselben eine Vereinigung aller derjenigen äquivalenten Töne, welche bei irgend einer Tagesbeleuchtung invariabel sind, in ein einziges Untersuchungsobject zu Stande zu bringen. Es ist ohne weiteres verständlich, dass zwischen derjenigen Beleuchtung, welche für die Invariabilität eines rothen oder grünen Tones den erfahrungsgemäss kleinsten, und derjenigen Beleuchtung, welche den grössten blauen Sector erheischt, eine unendliche Anzahl fein nüancirter Beleuchtungen existiren, denen eine unendliche Reihe invariabler Töne entsprechen. Durch ein im Princip sehr einfaches, in der Ausführung aber äusserst schwieriges Verfahren ist es möglich, alle diese Töne in ein Object zu vereinigen.

Dieses Verfahren ist folgendes. Ich liess mir durch den Lithographen zunächst die beiden äussersten Farben drucken, d. h. diejenigen Roth oder Grün gleicher rother oder grüner und weisser Valenz aller unserer Versuche, welche den geringsten und den grössten Blauwerth repräsentirten. Diese Töne wurden direct von der Rotationsscheibe in Quadraten von 5 cm Seitenlänge copirt und in gleicher Weise controlirt, wie es bei den Farben des Malers geschehen war. Die Quadrate hatten lediglich den Zweck, die Controle zu erleichtern. Hatten wir nun z. B. die beiden äussersten Roth genau gleich roth- und hellwerthig erhalten, so wurden sie in folgender Weise vereinigt. Ich liess durch den Lithographen das eine Roth in Ringform drucken und zwar so, dass in dem 1 cm breiten Ring dieses betr. Roth auf einer Strecke von 1 cm in seiner ganzen Stärke, d. h. so wie es auf den Probequadraten war, erschien. Von dieser Strecke an musste dieses Roth, dem Ring folgend, nach einer Seite hin gleichmässig abnehmen bis es

total ausklang und zwar bis zu einem Punkt, der noch 1 cm vom Anfang der vollgedruckten Farbstrecke entfernt war, so dass es die letzte Strecke von 1 cm Länge ganz freiliess. Ein anderer Stein ist dazu bestimmt, das andere Roth so zu drucken, dass es in entgegengesetzter Richtung abnimmt und ebenfalls in der Anfangsstrecke von 1 cm in seiner ursprünglichen Stärke erscheint und die Endstrecke von 1 cm ganz freilässt. Werden nun von den beiden Steinen auf das gleiche Papier Abdrücke genommen, so dass die in voller Stärke erscheinende Strecke der einen Farbe in die freie Strecke der andern genau hineinpasst, so erhalten wir auf diesem Papier sowohl die beiden reinen äussersten Töne als auch, dazwischen liegend, alle möglichen Uebergänge von der einen in die andere.

Aber alle diese Uebergänge müssen unter sich in Bezug auf Helligkeit und auf rothe resp. grüne Valenz genau gleich sein. Setzen wir den Werth jeder ganzen Farbe in Bezug auf roth resp. grün und hell gleich 1, so muss in jedem Gradstrich die Summe der beiden abgeschwächten Farben in gleichem Bezug gleich 1 sein. Sobald die eine angefangen hat, abzunehmen, muss der Defect durch jede entsprechende Stelle der andern Seite zu 1 ergänzt werden. Wir können dieses Verhältniss am besten graphisch durch folgende Figur veranschaulichen.



Es wird danach, da anfangs beide Farben nur in Bezug auf roth und hell gleichwerthig sind, nur der beginnende Defect an roth und hell gedeckt, der Blauwerth einer Seite nimmt mit der farbigen Valenz überhaupt ab, wird aber durch die Farbe der andern Seite nicht nur nicht ergänzt,

sondern durch deren in gleicher Richtung steigenden Gelbwerth abgeschwächt und umgekehrt. Was hier über Blau- und Gelbwerth gesagt ist, darf natürlich nur relativ und cum grano salis verstanden werden.

Wenn es möglich ist, die Steine so herzustellen, dass auf jedem die damit zu druckende Farbe gleichmässig und gleich rasch abnimmt wie die andere, so müssen diese Forderungen erfüllbar sein. Denn die so übereinander gedruckten Farben mischen sich sehr gut und es kommt nicht einmal darauf an, welche von beiden zuerst und welche nachher gedruckt wird.

Die Herstellung solcher Steine ist der schwierigste Punkt und ist bis dahin noch nicht vollkommen gelungen. Immerhin sind die bis jetzt erzielten Resultate ermuthigend.

Zur Untersuchung am Perimeter können wir selbstverständlich die Ringe nicht in toto gebrauchen, sondern müssen der eben herrschenden Beleuchtung entsprechende Ausschnitte benutzen. Um nicht eine unbequeme Reihe verschiedener ausgeschnittener Stückchen zu haben, liess ich neutral graue runde Scheiben von gleichem Radius wie die äussere Begrenzung der Ringe anfertigen. Die Scheiben werden auf die Ringe gelegt und bekommen entsprechend den letztern an ihrer Peripherie einen Ausschnitt, der einer Fläche von ca. 1 cm □ entspricht. Gegenüber diesem Ausschnitt ist die Scheibe am Ende eines Handgriffes befestigt. Der Ring ist unter der Scheibe concentrisch so angebracht, dass er mit Leichtigkeit gedreht werden kann, so dass die für die betreffende Tagesbeleuchtung invariable Stelle desselben im Ausschnitt zum Vorschein gebracht werden kann. Damit der Farbenring durch Reibung mit der Scheibe nicht zu rasch Schaden leide, muss letztere an ihrer unteren Fläche mit Glanzpapier bekleidet sein.

Die beschriebene Form des Untersuchungsobjectes ist von Vortheil namentlich für diejenigen Herren Collegen, welche als Perimeter immer noch den schwarzen Bogen in

Gebrauch haben. Das Grau der Scheiben wurde nämlich in gleicher Helligkeit gewählt wie die Farbenringe; auf diese Weise kann die Untersuchung unter möglichst günstigen Umständen gemacht werden und es ist damit eine Ungenauigkeit vermieden, auf welche Pflüger schon lange Rücksicht genommen hat, wie wir bei Beschreibung seines Perimeters zeigen werden. Es darf nämlich ohne weiteres zugegeben werden, dass genauere Resultate erzielt werden können, wenn in homogenem Grund ein Object überhaupt erst in dem Augenblick sichtbar wird, in dem es zugleich auch in seiner wahren Farbe erscheint, als wenn durch den Untersuchten angegeben werden muss, in welchem Augenblick ein bisher sichtbares Object beginnt, einen Farbenton anzunehmen. Da Scheiben und Ringe von gleicher Helligkeit sind, befinden wir uns in ersterem Fall.

Es scheint mir angezeigt, an dieser Stelle gleich einige Bemerkungen über die Form des Perimeters einzuschalten.

Das wohl am meisten im Gebrauch stehende Förster'sche Bogen-Perimeter hat verschiedene Nachtheile, namentlich für die Feststellung des Farbengesichtsfeldes. Wiederholen wir zuerst den einen Nachtheil, dass es schwarz ist. Auch wenn man die vorgeschlagenen gedeckten Ringe anwenden würde, wäre immer deren dem Centrum des Perimeters zugekehrte Seite dem Contrast mit dem schwarzen Grund ausgesetzt; nach dieser Seite hin die deckende graue Fläche zu vergrössern geht nicht gut an, weil sonst das ganze Object gross und unhandlich würde. Zwei andere Unzulänglichkeiten dieses Perimeters bestehen darin, dass erstens die Aufmerksamkeit der Patienten durch anderweitige Gegenstände oder im Zimmer sich abspielende Bewegungen abgelenkt werden kann und dass zweitens die Netzhaut allen möglichen Eindrücken und Einflüssen ausgesetzt ist, welche nothwendigerweise die Genauigkeit der Resultate beeinträchtigen müssen. Ein neutral graues Untersuchungszimmer wird wohl den wenigsten Augenärzten zur Verfügung

stehen. Kaum zu nennen brauchen wir die Unbequemlichkeit in der Registrirung der gefundenen Gesichtsfelder.

Das Meyer'sche Perimeter, welches nur aus einem Viertelskreisbogen besteht, der an einem Ende im Centrum einer vertikal gestellten schwarzen Scheibe drehbar ist, hält besser die Nebeneindrücke vom Patienten ab, ist aber für genaue Aufnahmen des farbigen Gesichtsfeldes auch untauglich, weil der Grund schwarz ist und weil stets störende Reflexe vom Bogen selbst ausgehen, auch wenn die Scheibe mit dem nöthigen Grau angemalt wäre.

Das in einer Hohlkugel aus Mattglas bestehende Stilling'sche Perimeter hat vor allen übrigen den grossen Vortheil, dass es überall gleichmässig beleuchtet ist. Aber es ist unmöglich, dem Object die gleiche Helligkeit zu geben wie dem Grund, da wir erstens keine durchsichtigen oder durchscheinenden Untersuchungsobjecte besitzen und da solche, auch wenn wir sie besässen, aus naheliegenden Gründen stets dunkler als das übrige Perimeter erscheinen müssten.

Die neuerdings von Pedrazzoli angegebene Form eines Perimeters ist eine recht ingeniöse Erfindung, scheint uns aber eher eine Spielerei zu sein, als vor den schon bekannten Modellen Vortheile zu bieten. Es vereinigt die Unzulänglichkeiten aller übrigen Formen in sich.

Die Scherk'sche Calotte mit der Modification von Pflüger scheint uns bis jetzt diejenige Form von Perimeter zu sein, welche am besten den gestellten Anforderungen zu genügen im Stande ist.

Die Scherk'sche Halbkugel ist durch 12 Meridiane in Sectoren eingetheilt und trägt zugleich eine Einteilung durch Parallelkreise, welche, von zehn zu zehn Grad markirt, auf jedem Radius 90° umfassen. Das Perimeter ist ebenfalls schwarz grundirt.

Pflüger hat vor ca. 10 Jahren dieses Perimeter dahin modificirt, dass er auf einer Hälfte den Rand desselben in einer Ausdehnung von 20° abgeschnitten hat. Da be-

kanntlich lediglich nach aussen das Gesichtsfeld die 70° überschreitet, so ist auch nur nach aussen ein Perimeter von 90° von Nutzen und wenn man auf den drei übrigen Seiten das überflüssige Stück eliminirt, so gewinnt man eine erhebliche Zunahme der Beleuchtung. Man hat dabei für die Untersuchung des rechten oder linken Auges nur die Calotte entsprechend um 90° ihrer Axe zu drehen. Zudem verlieh Pflüger seinem Perimeter eine neutral graue Farbe, welche möglichst der Helligkeit der von ihm angewandten Bull'schen Farben angepasst war.

Trotzdem dieses Perimeter, wie gesagt, unter den bekannten weitaus das zweckmässigste ist, so ist es doch immer noch nicht frei von Tadel. Man kann nicht so gut wie bei allen andern controliren, ob das Auge des Patienten wirklich stets den Mittelpunkt fixirt. Diesem Fehler wäre vielleicht dadurch abzuhelfen, dass man im Centrum der Halbkugel einen kleinen, schiefgestellten und um die Axe der Halbkugel drehbaren Spiegel anbrächte, vermittelst dessen der Patient das Auge des hinter ihm stehenden Untersuchers zu fixiren hätte. Damit wäre nebenbei auch die Accommodation des Patienten thunlichst ausgeschaltet.

Sodann ist die Beleuchtung der Calotte unmöglich überall die gleiche. Ist die Calotte so aufgestellt, dass ihre offene Seite gegen ein Fenster sieht, so fällt die Hauptmasse der Lichtstrahlen senkrecht auf das Centrum, während die zunehmend excentrischen Parthien unter immer spitzer werdendem Winkel getroffen werden: daraus resultirt, dass die äussersten Parthien entsprechend am schlechtesten beleuchtet sind. Diesen Fehler compensirend könnte man die Farbe der Halbkugel gegen den Rand zu allmählig heller werden lassen, so dass jede Stelle die gleiche Helligkeit erhielte. Dies wäre deshalb unrichtig, weil auch das überall parallel dem Grund gehaltene Object am Rand der Calotte schlechter beleuchtet ist, als gegen das Centrum hin. Der Fehler ist demnach ein relativer und

kann auch deshalb in der Praxis vernachlässigt werden. Man könnte ja allerdings das Object im Centrum des Perimeters fix anbringen und das Auge von der Peripherie gegen das Centrum hin sich bewegen lassen, bis es die betreffende Farbe erkennt; dabei wären Object und Grund in constanter Beleuchtung. Herr Dr. Javal in Paris verfährt, wie er mir mittheilte, auf diese Weise. Aber es scheint mir, dass diese Methode entweder für den Patienten sehr ermüdend ist, da von ihm die bekannten kleinen ruckweisen Augenbewegungen verlangt werden, oder aber sehr ungenau, wenn der Patient seine Augenmuskeln nicht ganz in der Gewalt hat; er wird öfters die Perimetergrenzen mit unwillkürlichen grösseren Bewegungen gleichsam überhüpfen.

Die Vortheile, welche das Pflüger'sche Perimeter bietet, sind aus den oben an den andern Modellen gerügten Fehlern ersichtlich: die Aufmerksamkeit des Patienten bleibt ins Perimeter concentrirt, seine Netzhaut wird nicht durch Nebeneinflüsse gereizt und es ist die Möglichkeit vorhanden, dem Grund und dem Untersuchungsobject die gleiche Helligkeit zu geben. Zudem ist die Registrirung des erhaltenen Gesichtsfeldes durch verschieden gefärbte Kreidestückchen sehr leicht und sofort anschaulich auszuführen.

Auf die letztere Thatsache wollte ich nicht einmal Gewicht legen, wenn nicht ein anderer Umstand, welcher die Art und Weise der Untersuchung angeht, noch in die Wagschale fiele. Es ist nämlich der Genauigkeit der Resultate zu liebe von Wichtigkeit, dass die Untersuchung nicht in der Weise vorgenommen werde, dass man zuerst eine Farbe Meridian für Meridian durchprobire, dann die andere zur gleichen Procedur vornehme u. s. w. Denn sobald einmal im ersten Meridian die Farbe erkannt ist, so weiss in jedem folgenden Meridian der Patient, dass die gleiche Farbe wieder kommt und ist deshalb voreingenommen. Es ist wichtig, dass der Arzt alle seine farbigen Objecte zur Hand habe, um alle in beliebig unterbrochener

Reihenfolge und in beliebiger Auswahl der Meridiane vorschiebe. So kann der Patient nie zum Voraus wissen, welche Farbe kommt und es wird deshalb sein wahres Gesichtsfeld zu Tage treten.

Es ist am zweckmässigsten, um es gleich hier noch zu bemerken, das Object in kleinen, senkrecht zu dem zu untersuchenden Meridian oscillirenden Bewegungen auf dem letztern vorzuschieben.

Bei den auf diese Weise am Pflüger'schen Perimeter, welches der Helligkeit der neuen Farben entsprechend übermalt worden war, mit meinen Farben vorgenommenen Untersuchungen habe ich wie Hess gefunden, dass die Grenzen für Roth und Grün zusammen fallen. Die Grenzen für Gelb sind durchwegs ca. 1° enger als für Blau, vielleicht wegen der stärkeren Brechung der blauen Strahlen?

Die Perimetergrenzen meiner Augen für Objecte von 1 cm □ betragen:

	Blau	Gelb	Roth	Grün
oben	30	29	20	20
oben aussen .	61	60	32	32
aussen . . .	82	80	50	50
unten aussen .	80	80	45	45
unten	54	53	24	24
innen unten .	49	48	24	24
innen	40	40	20	20
innen oben . .	37	36	25	25

Für Objecte von 0,5 cm □ betragen die Aussengrenzen:

	Blau	Gelb	Roth	Grün
oben	20	20	14	14
oben aussen .	40	39	24	24
aussen . . .	65	63	30	30
aussen unten .	50	50	30	30
unten	34	33	15	15
unten innen .	35	34	13	13
innen	35	35	18	18
oben innen . .	30	30	16	16

Ich will nicht vergessen zu sagen, dass ich auch die Frage erwogen habe, ob es nicht einen gewissen Sinn hätte, die farbigen Valenzen des roth-grünen und des blau-gelben Paares so einander zu nähern, die ersten vermehrend, die letztern vermindernd, dass die Gesichtsfeldgrenzen für beide die gleichen würden. Es würden sich dadurch wahrscheinlich bestehende Abnormitäten im Gesichtsfeld irgend einer Farbe leichter beurtheilen lassen. Doch ist diese Gleichheit mit Pigmenten jedenfalls nicht erreichbar und durchfallendes Licht, bei dem es vielleicht möglich wäre, lässt sich zur Perimetrie nicht verwenden.

Am Schluss meiner Arbeit angelangt, kann ich mir nicht versagen, meiner Verwunderung darüber Ausdruck zu verleihen, dass die grundlegende Abhandlung von Ole Bull (Arch. f. Ophth. 1881 I) im ganzen so wenig Anklang gefunden hat. Ich kann es, offen gestanden, nicht begreifen, dass, nachdem Bull in so unzweideutiger und überzeugender Weise alle Eigenschaften von zur Perimetrie tauglichen Farben auseinander gesetzt hatte, es noch Gelehrte geben konnte, welche von gewissen Aenderungen der Farben beim peripheren Sehen schrieben, welche für jede Farbe ein fixes Gesichtsfeld finden wollten, ohne nur anzugeben, mit was für Farben sie operirten, und welche die Unveränderlichkeit gewisser Töne keines Wortes werth erachteten. Wenn auch die Bull'schen Farben die exacte Hering'sche Probe nicht bestehen, so hat er doch den ersten Anstoss dazu gegeben, die längst existirenden Fordernisse für geeignete Farben in praxi umzusetzen und nebstdem sind seine Farben noch weit besser als alle käuflichen Papiere oder Tücher.

Wenn es mir gelungen sein sollte, das Interesse an dieser für die Praxis so eminent wichtigen Frage wieder erregt zu haben, so ist der Zweck dieser Arbeit erfüllt.

Meine auf Blech aufgetragenen, von mir controlirten

Oelpigmente sind bei Herrn Maler Lauterburg in Bern erhältlich.

Die genaue Ausführung der Farbenringe, wie sie oben beschrieben sind, ist noch nicht so weit gediehen, dass sie vervielfältigt werden könnten. Sobald hierin eine befriedigende Lösung erzielt sein wird, so werden dieselben den sich darum interessirenden Herren Collegen zugänglich gemacht werden.

Die einfachen Pigmente werden seit ca. $^1/_2$ Jahr in der Berner Augenklinik mit Vortheil verwandt. Sie haben vor den Bull'schen Farben grössere Helligkeit, grösseren farbigen Gehalt und deshalb weitere Aussengrenzen voraus.

Es bleibt mir noch die angenehme Pflicht übrig, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. Pflüger für seine Anregung und seine Unterstützung den wärmsten Dank auszusprechen.

Druck von Pöschel & Trepte in Leipzig.